Buletin Ilmiah Mat. Stat. dan Terapannya (Bimaster)
Volume 03, No. 1 (2015), hal 25 – 32.

APLIKASI *SIMULATED ANNEALING* UNTUK MENYELESAIKAN *TRAVELLING SALESMAN PROBLEM*

Edi Samana, Bayu Prihandono, Evi Noviani

INTISARI

Travelling Salesman Problem (TSP) merupakan salah satu permasalahan optimasi kombinatorial yang penyelesaian akhirnya bertujuan untuk mendapatkan solusi optimal yaitu menemukan rute perjalanan yang paling minimum. Pada kenyataannya, TSP bukan hanya masalah rute terpendek saja melainkan juga masalah biaya dan waktu perjalanan yang optimal. Untuk menyelesaikan dan menemukan solusi dari permasalahan tersebut salah satu algoritma yang bisa digunakan adalah Simulated Annealing (SA). SA merupakan analogi dari proses pendinginan cairan logam yang disebut annealing. Pada penelitian ini dilakukan analogi dan pengembangan algoritma SA sehingga mampu digunakan untuk menyelesaikan TSP dengan beberapa fungsi objektif. Tujuan dari penelitian ini adalah mengaplikasikan SA untuk menyelesaikan TSP. Langkah pertama yang dilakukan adalah rute awal ditentukan secara random dan dihitung biaya, jarak dan waktu perjalanan salesman. Langkah selanjutnya ditentukan rute baru dengan cara menukarkan tetangga berikutnya dan evaluasi rute baru tersebut. Hasil perhitungan diperoleh minimum biaya perjalanan salesman PT. XX yang diberikan sebesar Rp. 77.000, jarak tempuh perjalanan 39 km dan waktu perjalanan 2 jam 37 menit dengan rute 0 – 3 – 4 – 5 – 2 – 1 – 0.

Kata kunci: *Simulated Annealing, Travelling Salesman Problem, graf*

PENDAHULUAN

Travelling Salesman Problem (TSP) merupakan masalah seorang *salesman* yang ingin mengunjungi beberapa tempat dimana kembali lagi ke tempat asalnya tepat satu kali sehingga diperoleh jarak terpendek. Beberapa contoh penerapan TSP yang muncul dalam kehidupan sehari–hari, misalnya: efesiensi pengiriman surat, pengiriman barang, dan masalah transportasi [1]. Permasalahan dalam bidang transportasi darat merupakan salah satu penerapan TSP dengan harapan biaya perjalanan yang dikeluarkan dan waktu perjalanan seminimum mungkin. Masalah TSP dapat diselesaikan dengan beberapa metode diantaranya Pemrograman Linear, Genetik Algoritma, *Hill Climbing*, *Simulated Annealing* (SA), dan Tabu Search [2].

Travelling Salesman Problem (TSP) juga merupakan masalah yang terkenal dalam teori graf. Graf terdiri dari berbagai jenis, diantaranya graf sederhana, graf tak sederhana, graf berarah dan graf tidak berarah. Graf merupakan struktur diskrit yang terdiri dari himpunan objek yang disebut simpul (*vertex*) dan himpunan sisi (*edges*) yang menghubungkan simpul–simpul tersebut. Graf digunakan untuk mempresentasikan objek–objek diskrit dan menjelaskan hubungan–hubungan antar objek–objek tersebut. Objek–objek diskrit biasanya digambarkan sebagai simpul–simpul terpisah, sedangkan hubungan antar objek–objek tersebut digambarkan dalam suatu sisi [3].

Pada kenyataannya, masalah TSP bukan hanya mencari rute terpendek tetapi juga mengoptimalkan biaya dan waktu perjalanan. Untuk itu, pada penelitian ini dibahas tentang masalah TSP dengan beberapa fungsi objektif. Permasalahan TSP pada penelitian ini diselesaikan dengan menggunakan *Simulated Annealing* (SA). Metode SA merupakan analogi dari proses pendinginan cairan logam yang disebut *annealing*. Prinsip kerjanya yaitu pada temperatur tinggi molekul–molekul cairan mempunyai tingkat energi yang tinggi sehingga relatif mudah bergerak terhadap molekul lainnya. Selanjutnya menurunkan temperatur secara perlahan sehingga diperoleh suatu keadaan stabil dengan tingkat energi yang minimum. Penurunan temperatur secara perlahan tersebut disebut proses *annealing* yang digunakan untuk menyelesaikan masalah TSP sehingga diperoleh solusi optimal. Keunikan metode SA adalah membolehkan biaya, jarak tempuh dan waktu perjalanan rute baru yang lebih besar daripada biaya, jarak tempuh dan waktu perjalanan rute sekarang. Tujuan dari penelitian ini adalah mengaplikasikan SA untuk menyelesaikan TSP sehingga diperoleh biaya, jarak tempuh dan waktu perjalanan yang minimum. Data yang digunakan merupakan data dari PT. XX yang terdiri dari biaya, jarak tempuh dan waktu perjalanan *salesman* menuju pos–pos yang berbentuk data simetris. Data simetris adalah data dengan biaya atau jarak perjalanan dari kota A menuju kota B sama dengan biaya atau jarak perjalanan dari kota B menuju kota A. Data perjalanan *salesman* tersebut kemudian direpresentasikan kedalam bentuk graf. Graf perjalanan *salesman* yang digunakan graf lengkap berbobot, tidak mengandung gelang (*loop*) dan sisi ganda. Gelang (*loop*) adalah sisi yang berawal dan berakhir pada simpul yang sama.

Penyelesaian TSP dengan metode SA dimulai dengan permasalahan TSP dalam bentuk graf lengkap dengan biaya perjalanan tertentu. Selanjutnya rute awal ditentukan secara random dan dihitung biaya perjalanan *salesman* PT. XX. Tetapkan rute awal yang dipilih secara random tersebut sebagai rute sekarang. Selanjutnya T awal ditentukan sesuai dengan *annealing schedule* yaitu $T_i = \alpha \times Z_c$ dengan $i = 1$ dan $\alpha = 0{,}95$. Setelah rute awal dan T_i diperoleh, selanjutnya dilakukan iterasi dengan cara menukarkan tetangga berikutnya secara random untuk menentukan rute baru dan evaluasi rute baru tersebut. Jika rute baru merupakan tujuan, maka lanjutkan iterasi hingga maksimum jumlah iterasi yang dilakukan. Jika rute baru bukan merupakan tujuan, namun memiliki nilai yang lebih kecil daripada rute sekarang ($Z_n \leq Z_c$), maka tetapkan rute baru sebagai rute sekarang. Jika tidak demikian ($Z_n > Z_c$), maka tetapkan rute baru sebagai rute sekarang dengan probabilitas penerimaan $p = e^{\frac{Z_c - Z_n}{T_i}}$. Langkah ini biasanya dikerjakan dengan membangkitkan suatu bilangan random r pada range $[0{,}1]$. Jika $r \leq p$, maka perubahan rute baru menjadi rute sekarang diperbolehkan. Jika $r > p$, maka perubahan rute baru menjadi rute sekarang tidak diperbolehkan. Setelah evaluasi rute baru, langkah selanjutnya adalah dilakukan *annealing schedule* yaitu $T_{i+1} = \alpha \times T_i$. Langkah selanjutnya dilakukan iterasi hingga solusi minimum global ditemukan. Maksimum iterasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah 60 iterasi. Kemudian diambil keputusan akhir untuk mendapatkan rute sekarang dengan biaya, jarak tempuh dan waktu perjalanan yang minimum.

TRAVELLING SALESMAN PROBLEM (TSP)

Penerapan TSP yang muncul dalam kehidupan sehari–hari misalnya permasalahan dalam bidang transportasi darat dengan harapan biaya perjalanan yang dikeluarkan dan waktu perjalanan seminimum mungkin. Jumlah rute yang mungkin diperoleh pada TSP dengan menggunakan rumus permutasi seperti berikut [4]:

$$ {}_nP_k = \frac{n!}{(n-k)!} \tag{1}$$

dengan n adalah jumlah seluruh kota dan k adalah jumlah kota yang diseleksi.

Travelling Salesman Problem (TSP) dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu [4]:

1. *Travelling Salesman Problem* (TSP) asimetris merupakan TSP dengan biaya atau jarak perjalanan dari kota A menuju kota B tidak sama dengan biaya atau jarak perjalanan dari kota B menuju kota A.
2. *Travelling Salesman Problem* (TSP) simetris merupakan TSP dengan biaya atau jarak perjalanan dari kota A menuju kota B sama dengan biaya atau jarak perjalanan dari kota B menuju kota A.

Metode *Simulated Annealing*

Metode *Simulated Annealing* (SA) dikembangkan dari analogi pada proses pendinginan cairan logam hingga akhirnya membentuk kristal yaitu *annealing*. *Annealing* merupakan teknik metalurgi yang menggunakan ilmu penjadwalan proses pendinginan untuk menghasilkan efisiensi dalam penggunaan energi yang optimal sehingga menghasilkan logam. Prinsip kerjanya yaitu pada temperatur tinggi molekul–molekul cairan mempunyai tingkat energi yang tinggi sehingga relatif mudah bergerak terhadap molekul lainnya. Jika temperatur diturunkan, molekul–molekul akan mengatur dirinya untuk mencari konfigurasi atau susunan dengan tingkat energi yang lebih rendah. Dengan menurunkan temperatur secara perlahan, molekul–molekul tersebut diberi kesempatan untuk mengatur diri sendiri sehingga diperoleh suatu keadaan stasioner atau stabil dengan tingkat energi yang minimum. Penurunan temperatur secara perlahan tersebut disebut proses *annealing* yang digunakan untuk menyelesaikan masalah TSP sehingga diperoleh solusi optimal [2].

Simulated Annealing (SA) adalah suatu varian dari teknik *Heuristic Search Hill Climbing* dimana variasi ini merupakan kebalikan dari *Steepest Hill Climbing*. Variasi rute yang dipilih untuk diobservasi adalah rute yang terendah (terkecil nilai bobotnya). *Heuristic Search* adalah sebuah cara yang meningkatkan efisiensi dari sebuah pencarian [1]. Meskipun algoritma SA secara konsep sangat sederhana, namun untuk mencari parameter optimal seperti inisialisasi temperatur, *annealing schedule*, parameter fungsi penerimaan, dan sebagainya ini tidak berarti sederhana atau mudah. Pertama–tama, yang dilakukan adalah menetapkan parameter untuk SA. Selain itu, banyak penelitian telah menunjukkan bahwa algoritma SA sangat sensitif terhadap parameter dan sangat tergantung pengaturan parameternya [5]. Tabel 1 menunjukkan pemetaan dari *physical annealing* kedalam SA [6]:

Tabel 1. Pemetaan *Physical Annealing* Kedalam SA

Fisika (Termodinamika)	***Simulated Annealing* (Optimasi)**
Keadaan sistem	Solusi yang mungkin
Energi	Biaya
Perubahan keadaan	Solusi tetangga
Temperatur	Parameter kontrol
Keadaan beku	Solusi heuristik

Hal–hal yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan proses SA yaitu sebagai berikut [5]:

1. Inisialisasi rute awal yang dipilih secara random.
   Memilih rute awal secara random sebagai posisi awal iterasi dalam proses SA.
2. Parameter awal.
   Parameter awal harus memiliki nilai yang cukup besar agar mampu terhindar dari *bad local optimal*.
3. Mekanisme pertukaran.
   Tentukan kota yang dibutuhkan untuk menentukan pertukaran solusi yang dianggap sebagai iterasi.
4. Fungsi objektif permasalahan
   Mengevaluasi setiap fungsi biaya yang berubah karena proses iterasi dari mekanisme pertukaran.
5. *Annealing schedule*
   Fungsi *annealing schedule* yang umum digunakan adalah
   $$T_{i+1} = \alpha \times T_i \tag{2}$$
   α adalah konstanta untuk menurunkan parameter kontrol dengan $\alpha < 1$.
6. Kriteria penghentian proses SA.
   Ada beberapa metode yang biasa digunakan untuk mengontrol penghentian algoritma yaitu dilihat dari:
   1. Maksimum jumlah iterasi.
   2. Nilai minimum parameter kontrol.
   3. Nilai minimum fungsi objektif.
   4. Nilai minimum dari tingkat penerimaan.

Algoritma SA diperkenalkan oleh Metropolis *et al* pada tahun 1953 yang beranalogikan dengan proses *annealing* dan diaplikasikan dalam masalah optimasi pertama kali oleh Kirkpatrick *et al* (1983). Algoritma SA bertujuan untuk meminimasi sebuah fungsi objektif. Algoritma ini melakukan peningkatan iteratif untuk memperbaiki solusi yang dihasilkan teknik–teknik penjadwalan *heuristic*. Keunikan metode SA adalah membolehkan biaya rute baru yang lebih besar daripada biaya rute sekarang agar dapat terhindar dari perangkap minimum lokal [6].

Struktur algoritma SA untuk TSP adalah sebagai berikut [6]:

1. Evaluasi rute awal. Jika rute awal merupakan tujuan, maka pencarian selesai dan keluar. Jika bukan, lanjutkan dengan menetapkan rute awal sebagai rute sekarang.
2. Inisialisasi BEST-SO-FAR dengan rute sekarang.
3. Inisialisasi T sesuai dengan *annealing schedule*.
4. Ulangi hingga solusi ditemukan atau sudah tidak ada lagi aturan yang bisa diaplikasikan ke rute sekarang.
   a. Pilih sebuah aturan yang belum pernah digunakan tersebut untuk menghasilkan rute baru.
   b. Evaluasi rute yang baru dengan menghitung:
   $$\Delta E = \text{nilai rute sekarang } (Z_c) - \text{nilai rute baru } (Z_n)$$
      i. Jika rute baru merupakan tujuan, maka pencarian berhasil dan keluar.
      ii. Jika rute baru bukan merupakan tujuan tetapi memiliki nilai yang lebih baik daripada rute sekarang $(Z_n \leq Z_c)$, maka tetapkan rute baru sebagai rute sekarang. Demikian juga tetapkan BEST-SO-FAR ke rute yang baru.
      iii. Jika nilai rute baru tidak lebih baik daripada nilai rute sekarang $(Z_n > Z_c)$, maka tetapkan rute baru sebagai rute sekarang dengan probabilitas:
      $$p = e^{\frac{Z_c - Z_n}{T_i}} \tag{3}$$
      dengan:
      Z_c = Nilai rute sekarang
      Z_n = Nilai rute baru
      T_i = Sebuah parameter yang ukurannya cenderung untuk menerima rute baru.
      Langkah ini biasanya dikerjakan dengan membangkitkan suatu bilangan random r pada interval [0,1]. Jika $r < p$, maka rute baru menjadi rute sekarang. Jika tidak, maka tidak akan dikerjakan apapun.
   c. Perbaiki T berdasarkan *annealing schedule*.
5. BEST-SO-FAR adalah solusi minimum global yang diharapkan.

Berikut ini adalah langkah–langkah yang dilakukan pada TSP beberapa fungsi objektif:

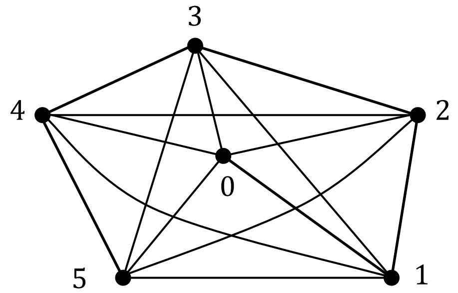
1. Tentukan rute awal dengan cara memilih rute awal yang dilalui *salesman* secara random dan dihitung total biaya perjalanan (Z_c).
2. Tentukan T awal yaitu $T_i = \alpha \times Z_c$ dengan $i = 1$, $\alpha = 0{,}95$ dan Z_c adalah biaya, jarak tempuh dan waktu rute awal yang dilalui *salesman* secara random.
3. Jalankan iterasi dengan menukarkan tetangga berikutnya dari rute yang dilalui *salesman* secara random tadi dengan cara membangkitkan bilangan random pada range $[0,1]$. Evaluasi rute baru dengan cara sebagai berikut:
   a. Jika rute baru merupakan tujuan, maka lanjutkan iterasi hingga maksimum jumlah iterasi yang dilakukan.
   b. Jika rute baru bukan merupakan tujuan, namun memiliki nilai yang lebih baik dari rute sekarang $(Z_n \leq Z_c)$ maka tetapkan rute baru sebagai rute sekarang.

c. Jika nilai rute baru tadi tidak lebih baik dari nilai rute sekarang $(Z_n > Z_c)$, maka tetapkan rute baru sebagai rute sekarang dengan probabilitas seperti pada persamaan (3). Langkah ini biasanya dikerjakan dengan membangkitkan suatu bilangan random r pada range $[0\ ,1]$. Jika $r \leq p$, maka perubahan rute baru menjadi rute sekarang diperbolehkan. Jika $r > p$, maka rute baru menjadi rute sekarang tidak diperbolehkan.

4. Perbaiki T sesuai dengan *annealing schedule* seperti pada persamaan (2).
5. Lakukan kembali langkah 3 dan langkah 4 untuk menentukan rute selanjutnya.
6. Hentikan iterasi sesuai dengan maksimum jumlah iterasi yang ditentukan.

STUDI KASUS

Seorang *salesman* PT. XX bertugas untuk mengecek ketersediaan suku cadang. *Salesman* yang akan berpergian dimulai dari pos awal XX A. Yani (0) ke pos Sei. Raya (1), pos Adisucipto (2), pos Siantan (3), pos Gajah Mada (4) dan pos Kota Baru (5), kemudian *salesman* harus kembali ke pos XX A. Yani. Pos-pos harus dikunjungi tepat satu kali dan rute yang diambil tidak boleh dilalui lebih dari satu kali dengan tujuan meminimumkan biaya, jarak dan waktu tempuh. Peta pos yang dikunjungi dapat dilihat pada Gambar 1 dan pada Tabel 2 terdaftar pos–pos yang akan dikunjungi beserta dengan biaya transportasi yang diberikan, jarak yang ditempuh dan waktu perjalanan. Gambar 1 dapat diasumsikan bahwa titik sebagai sebuah tempat pos, sisi merepresentasikan jalan yang menghubungkan antar tempat pos dan bobot merepresentasikan biaya, jarak dan waktu perjalanan *salesman*.



Gambar 1. Graf Perjalanan *Salesman* PT. XX

Tabel 2. Perjalanan *Salesman* PT. XX

Rute Pos	Biaya	Jarak	Waktu
PT. XX – Sei. Raya	Rp. 10.000	3 km	12 menit
PT. XX – Kota Baru	Rp. 12.000	5 km	18 menit
PT. XX – Siantan	Rp. 12.000	6 km	28 menit
PT. XX – Adisucipto	Rp. 13.000	7 km	24 menit
PT. XX – Gajah Mada	Rp. 10.000	3 km	10 menit
Sei. Raya – Kota Baru	Rp. 14.000	8 km	32 menit
Sei. Raya – Siantan	Rp. 16.000	10 km	38 menit
Sei. Raya – Adisucipto	Rp. 12.000	6 km	25 menit
Sei. Raya – Gajah Mada	Rp. 12.000	6 km	25 menit
Kota Baru – Siantan	Rp. 18.000	12 km	46 menit
Kota Baru – Adisucipto	Rp. 17.000	12 km	42 menit
Kota Baru – Gajah Mada	Rp. 12.000	5 km	20 menit
Siantan – Adisucipto	Rp. 18.000	12 km	45 menit
Siantan – Gajah Mada	Rp. 14.000	7 km	30 menit
Gajah Mada – Adisucipto	Rp. 16.000	10 km	35 menit

Penyelesaian:

Tabel 3 menunjukkan biaya (c) yang diberikan dalam ribuan rupiah, jarak yang di tempuh (d) dengan satuan kilometer dan waktu (t) dalam menit secara keseluruhan perjalanan seorang *salesman* PT. XX seperti pada Gambar 1.

Tabel 3. Biaya, Jarak dan Waktu Secara Keseluruhan

POS	PT. XX (0)			Sei. Raya (1)			Adisucipto (2)			Siantan (3)			Gajah Mada (4)			Kota Baru (5)		
	c	d	t	c	d	t	c	d	t	c	d	t	c	d	t	c	d	t
PT. XX (0)	0	0	0	10	3	12	13	7	24	12	6	28	10	3	10	12	5	18
Sei. Raya (1)	10	3	12	0	0	0	12	6	25	16	10	38	12	6	25	14	8	32
Adisucipto (2)	13	7	24	12	6	25	0	0	0	18	12	45	16	10	35	17	12	42
Siantan (3)	12	6	28	16	10	38	18	12	45	0	0	0	14	7	30	18	12	46
Gajah Mada (4)	10	3	10	12	6	25	16	10	35	14	7	30	0	0	0	12	5	20
Kota Baru (5)	12	5	18	14	8	32	17	12	42	18	12	46	12	5	20	0	0	0

Langkah yang akan dilakukan adalah mengoptimalkan biaya, jarak dan waktu perjalanan *salesman* PT. XX tersebut.

1. Menentukan rute awal dengan cara memilih rute awal yang dilalui *salesman* secara random.
   Rute awal dengan solusi rute $0-1-2-3-4-5-0$, dengan 0 sebagai titik awal perjalanan.
   Biaya transportasi yang diberikan (c): $10+12+18+14+12+12=78$
   Jarak yang tempuh (d): $3+6+12+7+5+5=38$
   Waktu perjalanan (t): $12+25+45+30+20+18=150$
2. Tentukan T awal yaitu $T_i=\alpha\times Z_c$ dengan $i=1$, $\alpha=0{,}95$ dan Z_c adalah biaya, jarak dan waktu tempuh rute awal yang dilalui *salesman* secara random.
   Biaya transportasi yang diberikan (c): $T_1=\ 0{,}95\times 78=74{,}10$
   Jarak yang ditempuh (d): $T_1=\ 0{,}95\times 38=36{,}10$
   Waktu perjalanan (t): $T_1=\ 0{,}95\times 150=142{,}50$
3. Kemudian dilakukan iterasi dengan maksimum jumlah iterasi yang dilakukan adalah $\frac{(n-1)!}{2}=\frac{(6-1)!}{2}=60$ iterasi.

Iterasi 1:

Langkah yang dilakukan yaitu membangkitkan suatu bilangan random untuk menentukan kota 1, kota 2, kota 3, dan kota 4 pada range [0,1]:

$0{,}00-0{,}24$ rute perjalanan awal menuju kota 1
$0{,}25-0{,}49$ rute perjalanan awal menuju kota 2
$0{,}50-0{,}74$ rute perjalanan awal menuju kota 3
$0{,}75-0{,}99$ rute perjalanan awal menuju kota 4

Bilangan random yang dibangkitkan adalah $r=0{,}00125$ maka terletak pada kota 1. Selanjutnya membangkitkan lagi suatu bilangan random untuk menentukan kota 2, kota 4 dan kota 5 pada range [0,1]:

$0{,}00-0{,}32$ rute perjalanan akhir menuju kota 2
$0{,}33-0{,}65$ rute perjalanan akhir menuju kota 4
$0{,}66-0{,}98$ rute perjalanan akhir menuju kota 5

Bilangan random yang dibangkitkan adalah $r=0{,}00125$ maka terletak pada kota 2. Langkah selanjutnya dengan menukarkan antara kota 1 dan kota 2 sehingga diperoleh rute:

$$0-2-1-3-4-5-0$$

Biaya transportasi yang diberikan (c):

$$13+12+16+14+12+12=79$$

Jarak yang ditempuh (d):

$$7 + 6 + 10 + 7 + 5 + 5 = 40$$

Waktu perjalanan (t):

$$24 + 25 + 38 + 30 + 20 + 18 = 155$$

Karena $Z_n > Z_c$ maka tetapkan rute baru sebagai rute sekarang dengan probabilitas seperti persamaan (3), yaitu:

$$p = e^{\frac{Z_c - Z_n}{T_1}}$$

Biaya transportasi yang diberikan (c):

$$p = e^{\frac{78-79}{74,10}} = 0,987$$

Jarak yang ditempuh (d):

$$p = e^{\frac{38-40}{36,10}} = 0,946$$

Waktu perjalanan (t):

$$p = e^{\frac{150-155}{142,50}} = 0,966$$

Karena $r < p$, maka rute baru dapat ditetapkan sebagai rute sekarang.
Inisialisasi $T_{i+1} = \alpha \times T_i$ sesuai *annealing schedule* dengan: $T_2 = 0,95 \times T_1$
Biaya transportasi yang diberikan (c): $T_2 = 0,95 \times 74,10 = 70,40$
Jarak yang ditempuh (d): $T_2 = 0,95 \times 36,10 = 34,30$
Waktu perjalanan (t): $T_2 = 0,95 \times 142,50 = 135,38$

Untuk perhitungan iterasi 2 sampai iterasi ke 60 juga menggunakan perhitungan yang sama seperti iterasi 1 sesuai dengan rute yang dilalui *salesman* tersebut.

Tabel 4. Hasil Iterasi Biaya, Jarak dan Waktu Perjalanan *Salesman* Dengan SA

Iterasi	Jalur	Biaya (Rp. x 1.000)	Jarak (Km)	Waktu (Menit)
	0-1-2-3-4-5-0	78	38	150
1	0-2-1-3-4-5-0	79	40	155
2	0-2-3-1-4-5-0	83	45	170
3	0-2-3-4-1-5-0	83	45	174
4	0-2-3-4-5-1-0	81	42	163
5	0-1-3-2-4-5-0	84	45	168
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
52	0-3-4-5-2-1-0	77	39	157
53	0-3-5-1-4-2-0	85	49	190
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
56	0-2-3-5-4-1-0	83	45	172
57	0-2-4-3-5-1-0	85	47	179
58	0-2-4-5-3-1-0	85	47	175
59	0-2-5-3-4-1-0	84	47	179

Dari perhitungan Tabel 4, dapat dilihat bahwa hasil iterasi dengan SA menunjukkan minimum biaya perjalanan pada rute yang dilalui adalah rute $0 - 3 - 4 - 5 - 2 - 1 - 0$ dengan biaya perjalanan sebesar Rp. 77.000, jarak tempuh 39 km dan waktu perjalanan 157 menit atau 2 jam 37 menit.

PENUTUP

Penyelesaian TSP dengan menggunakan metode SA pada PT. XX dapat disimpulkan bahwa rute yang dilewati *salesman* adalah $0 - 3 - 4 - 5 - 2 - 1 - 0$ dengan melewati rute pos Siantan, pos Gajah Mada, pos Kota Baru, pos Adisucipto, pos Sei. Raya dan kembali lagi ke PT. XX. *Salesman* mengeluarkan biaya sebesar Rp. 77.000 dengan jarak yang ditempuh 39 km serta waktu yang diperlukan selama perjalanan 2 jam 37 menit.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Hillier SF, Lieberman, JG. *Introduction To Operation Research*. Jakarta: Penerbit ANDI; 2008.

[2]. Rizal J. Optimasi pada Traveling Salesman Problem (TSP) dengan Pendekatan Simulasi Annealing. *Jurnal Gradien Universitas Bengkulu*. 2007 *Juli*; 2(3): 286-290.

[3]. Wijaya A. *Matematika Diskrit*. Bandung: Politeknik Telkom; 2009.

[4]. Muzid S. Pemanfaatan Algoritma Fuzzy Evolusi Untuk Penyelesaian Kasus Travelling Salesman Problem. *Universitas Islam Indonesia*. Yogyakarta. 2008 Juni; 21.

[5]. Chibante R, Araujo A, and Carvalho A. *Simulated Annealing Theory with Applications*. Croatia: Sciyo; 2010.

[6]. Suyanto. *Algoritma Optimasi Deterministik atau Probabilitik*. Yogyakarta: Edisi ke-1. Penerbit Graha Ilmu; 2010.

EDI SAMANA : FMIPA UNTAN, Pontianak, edisamana@yahoo.com
BAYU PRIHANDONO : FMIPA UNTAN, Pontianak, beiprihandono@gmail.com
EVI NOVIANI : FMIPA UNTAN, Pontianak, evi_noviani@math.untan.ac.id